第39卷 第2期 昆 虫 学 报 Vol.39, No.2
1996年 5月 ACTA ENTOMOLOGICA SINICA May, 1996

若干蛾类翅面正投影形状聚类分析*
(鳞翅目：缰翅亚目)

张志涛 陈伟 傅强
(中国水稻研究所 杭州 310006)

李光博
(中国农业科学院植物保护研究所 北京 100094)

李宝娟
(浙江农业大学 杭州 310029)

摘要 本文以翅面正投影形状的特征参数为指标，对20科71种鳞翅目蛾类昆虫进行系统聚类。结果，粘虫 *Mythimna separata*、小地老虎 *Agrotis ypsilon*、稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 等迁飞昆虫集中地归于一类，表明具有远距离迁飞行为的蛾类翅面几何形状相似，存在区别于其它种类的共同特征，即前翅较窄长，翅前缘较平直，外侧宽阔。这可能是适应远距离迁飞的特征。

关键词 鳞翅目，缰翅亚目，翅面正投影，聚类分析

迁飞昆虫比一般种类具有更强的远距离飞行能力。室内吊飞(flight mill)试验结果，粘虫 *Mythimna separata* 一次飞行距离可达323.5 km[1]，小地老虎 *Agrotis ypsilon* 可达376.0 km[2]；而实际标记回收结果，粘虫最远回收距离为1 488 km，小地老虎为1 818 km[3]。

翅面几何形状分析是研究翅力学结构和飞行能力的重要内容。然而，以往对翅的形状仅限于文字描述[4~7]，缺乏关于定量分析的报道。全国小地老虎科研协作组曾试图以翅的长、宽比进行数学分析，认为小地老虎前翅长与宽的比值超过3，而一般夜蛾仅为2.5左右[3]，但终因所取信息量较小，未能真正揭示迁飞昆虫与一般昆虫翅形的差异。

蛾类种类繁多，翅形变化最为复杂，研究蛾类翅面形状与远距离迁飞有关的特征具有一定的科学意义。本文将报道常见20科71种蛾类昆虫翅面正投影聚类分析的方法和结果。

1 材料与方法

供试蛾类昆虫共20科71种(表1)，粘虫等少数种取自养虫室，其余均由浙江农业大学、中国农业科学院植物保护研究所标本馆提供。其中未选用某些特殊翅形(如羽蛾)，但包括多种三角形、披针形和钟形翅，具有足够的代表性。昆虫学名摘自标本定

* 国家自然科学基金资助项目
1994-05-04收稿， 1994-11-09收修改稿

表1 鳞翅目20科71种蛾类昆虫名录*

透翅蛾科	Aegeriidae
桑透翅蛾	*Paradoxecia pieli*
灯蛾科	Arctiidae
尘污灯蛾	*Spilarctia obliqua*
蚕蛾科	Bombycidae
茶蚕	*Andraca bipunctata*
野蚕	*Bombyx mandarina*
桑螨	*Rondotia menciana*
刺蛾科	Eucleidae
黄刺蛾	*Cnidocampa flavescens*
枣奕刺蛾	*Iragoides conjuncta*
褐边绿刺蛾	*Parasa conjuncta*
丽绿刺蛾	*Parasa lepida*
扁刺蛾	*Thosea sinensis*
麦蛾科	Gelechiidae
棉红铃虫	*Pectinophora gossypiella*
麦蛾	*Sitotroga cerealella*
尺蛾科	Geometridae
卫矛尺蠖	*Abraxas miranda*
棉尺蠖蛾	*Ascotis selenaria*
白点尺蛾	*Ectropis extersaria*
桑尺蠖	*Phthonandria atrilineata*
枯叶蛾科	Lasiocampidae
马尾松毛虫	*Dendrolimus punctatus*
苔蛾科	Lithosiidae
优雪苔蛾	*Chionaema hamata*
毒蛾科	Lymantriidae
茶白毒蛾	*Arctornis alba*
茶黄毒蛾	*Euproctis pseudoconspersa*
桑褐斑盗毒蛾	*Porthesia xanthocampa*
夜蛾科	Noctuidae
桑夜蛾	*Acronycta major*
小地老虎	*Agrotis ypsilon*
小造桥虫	*Anomis flava*
黄麻桥夜蛾	*Anomis sabulifera*
黑点银纹夜蛾	*Argyrogramma agnata*
鼎点金刚钻	*Earias cupreoviridis*
芋双线天蛾	*Theretra oldenlandiae*
翠纹金刚钻	*Earias fabia*
臭椿皮蛾	*Eligma narcissus*
粘虫	*Mythimna separata*
白脉粘虫	*Mythimna venalba*
稻螟蛉	*Naranga aenescens*
蓖麻夜蛾	*Ophiusa melicerta*
斜纹夜蛾	*Prodenia litura*
大螟	*Sesamia inferens*
甜菜夜蛾	*Spodoptera exigus*
舟蛾科	Notodontidae
杨扇舟蛾	*Clostera anachoreta*
小卷蛾科	Olethreutidae
枣粘虫	*Ancylis sativa*
菜蛾科	Plutellidae
小菜蛾	*Plutella xylostella*
蓑蛾科	Psychidae
棉蓑蛾	*Clania variegata*
螟蛾科	Pyralidae
米缟螟	*Aglossa dimidiatua*
稻巢螟	*Ancylolomia chrysographella*
二化螟	*Chilo suppressalis*
稻纵卷叶螟	*Cnaphalocrocis medinalis*
瓜绢野螟	*Diaphania indica*
黄杨绢野螟	*Diaphania perspectalis*
桃蛀野螟	*Dichocrocis punctiferalis*
豆荚斑螟	*Etiella zinckenella*
甜菜白带野螟	*Hymenia recurvalis*
草地螟	*Loxostege sticticalis*
大豆卷叶螟	*Maruca testulalis*
麦螟	*Nomophila noctuella*
稻黄纹水螟	*Nymphula fengwhanalis*
亚洲玉米螟	*Ostrinia furnacalis*
印度谷螟	*Plodia interpunctella*
纯白禾螟	*Scirpophaga praelata*
棉卷叶野螟	*Sylepta derogata*
三化螟	*Tryporyza incertulas*
卷蛾科	Tortricidae
棉褐带卷蛾	*Adofxophyes orana*
茶长卷蛾	*Homona magnanima*
巢蛾科	Yponomeutidae
苹果巢蛾	*Yponomeuta padella*
斑蛾科	Zygaenidae
茶斑蛾	*Eterusia aedea*
梨叶斑蛾	*Illiberis pruni*
天蚕蛾科	Saturniidae
绿尾大蚕蛾	*Actias selene*
柞蚕	*Antheraea pernyi*
樗蚕	*Philosamia cynthia*
天蛾科	Sphingidae
榆天蛾	*Ceratomia amyntor*
豆天蛾	*Clanis billineata*
桃六点天蛾	*Marumba gaschkewitschi*
霜天蛾	*Psilogramma menephron*

* 科名、种名均按拉丁文字母顺序排列

名标签，并以中国科学院动物研究所《拉英汉昆虫名称》校正。

作法如下：将标本回软，取下完整的翅，用放大机在坐标纸上作正投影制图。前、后翅结合投影时，前、后翅基相连，后翅外缘最外点与前翅后缘相交。然后，作正投影图前翅翅基与翅外缘最外点连线，即翅面正投影(曲面)的最长直径，及其垂直平分线，成直角坐标系。测定翅在各象限部分的面积，分别为 S_1、S_2、S_3、S_4(图1)，并计算下列参数。$R_1=(S_3+S_4)/(S_1+S_2)$，若前翅前缘平直，(S_1+S_2) 值趋小，(S_3+S_4) 值趋大，R_1 值趋大。$R_2=(S_3+S_4)/S_2$，若前翅前缘基部不弯曲，S_2 值趋小，R_2 值趋大。$R_3=S_4/S_2$，若前翅外侧宽阔，而前缘基部平直，S_4 值趋大，S_2 值趋小，R_3 值趋大。

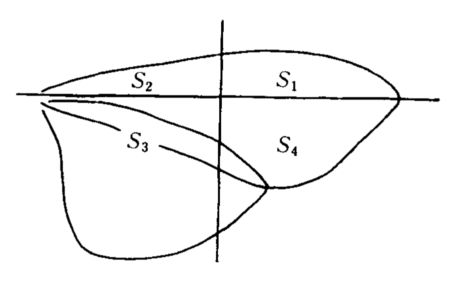


图1　翅面投影及其坐标

昆虫飞翔时，前、后翅互相联接形成完整的翅型构造，但鳞翅目昆虫的翅属前动类，前翅在飞翔中起主要作用。笔者以前翅为主要研究对象，并注意到前、后翅的综合作用。在同一虫种中，异性或同性个体之间翅面积绝对值存在一定差异，但各象限面积比值的差异均不显著。试验采用两性个体混合供试，最小重复数不少于3。

聚类分析采用北京大学多元统计MSA软件包，在PC机上进行。以 R_1、R_2、R_3 等参数为特征指标，以欧氏距离或相似系数为统计量，对20科71种蛾类昆虫翅面正投影进行系统聚类，并以同样方法分别对夜蛾科15种昆虫及螟蛾科18种昆虫翅面正投影形状进行分析。

2　结果与分析

粘虫、小地老虎、稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 等具有远距离迁飞行为的种类，R_1、R_2、R_3 等各项参数值明显高于71种蛾类的平均值(表2)。聚类分析结果如下：

2.1　夜蛾科15种昆虫以前翅 R_1、R_2、R_3 三参数为特性指标，以欧氏距离为统计量进行聚类，分为A、B、C、D、E五类(图2)。

A类囊括了15种昆虫中全部与迁飞有关的虫种。其中，粘虫、小地老虎是已被证实的具有典型远距离迁飞行为的昆虫[3,8]。甜菜夜蛾亦早有关于迁飞的报道[9]。甜菜夜蛾属"*Spodoptera*"属，众所周知，*S.* 属与迁飞有殊缘。著名的迁飞昆虫莎草夜蛾(非洲粘虫)*S. exempta* 和草地夜蛾(美洲粘虫)*S. frugiperda* 都是这个属的成员。

以前、后翅结合各参数为特性指标，聚类结果与前翅基本相同，迁飞昆虫仍归于同一类。

2.2　螟蛾科18种昆虫以前翅 R_1、R_2、R_3 三参数为特性指标，以欧氏距离为统计量进行聚类，分为A、B、C三类(图3)。稻纵卷叶螟作为一种典型的远距离迁飞昆虫[10]，明显不同于另外17种昆虫而自成一类(C)。然而，在迁飞报道的草地螟未能与稻纵卷叶螟同归于C类，但与有迁飞争议的玉米螟紧紧相连，归于同一小区，说明草地螟与玉米螟可能存在相似之处。

以前、后翅结合各参数为特性指标，稻纵卷叶螟仍自成一类，所不同的是其它17种

螟蛾的聚类有较大变化。草地螟与玉米螟仍同属一类，但距离有所增加。

2.3 71种蛾类昆虫以前翅或前、后翅结合 R_1、R_2、R_3 三参数为特性指标，以欧氏距离为统计量进行聚类，粘虫、小地老虎、稻纵卷叶螟等具有典型远距离迁飞行为的昆虫，在系统聚类图中仍高度集中。草地螟和玉米螟亦紧紧相连，仍归于同一小区。

应当说明，另有3种无迁飞报道的昆虫与粘虫等归于一类，其翅形可分以下情况：(1) 野蚕，翅外侧宽阔，前缘凹陷，第二象限面积小，使 R_1、R_2、R_3 三参数值升高。(2) 丽绿刺蛾和枣奕刺蛾，翅短而阔，翅横坐标以下部分面积增加，使 R_1、R_2、R_3 三参数值升高。然而，上述两种情况均与迁飞蛾类翅面形状特征不同，极易区别。

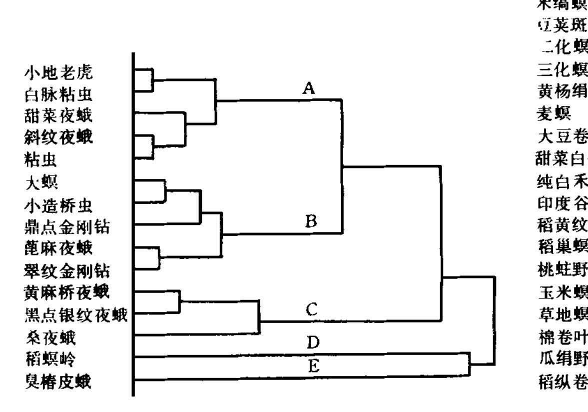


图2 夜蛾科15种昆虫前翅翅面几何图形的系统聚类

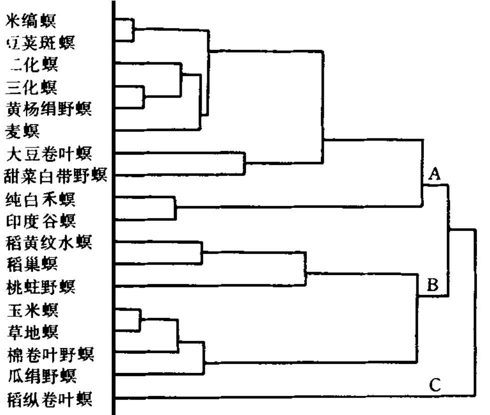


图3 螟蛾科18种昆虫前翅翅面几何图形的系统聚类

表2 六种重要蛾类昆虫翅面正投影形状参数

昆虫名称	前翅			前翅+后翅		
	R_1	R_2	R_3	R_1	R_2	R_3
粘　虫*	3.72±0.21	8.59±0.58	5.00±0.35	6.28±0.32	14.99±0.44	5.69±0.08
小地老虎*	3.55±0.12	8.36±0.80	5.01±0.49	7.25±0.23	17.51±1.01	6.37±0.50
稻纵卷叶螟*	3.39±0.41	7.99±0.17	4.87±0.20	6.57±0.42	13.93±0.51	5.57±0.36
草地螟**	2.30±0.19	5.28±0.54	3.22±0.35	4.19±0.29	9.28±0.50	3.72±0.28
玉米螟***	2.40±0.31	5.35±0.54	3.24±0.29	3.65±0.31	8.88±0.52	3.50±0.29
71种虫平均值	2.28±0.64	5.13±1.63	2.93±0.99	3.91±1.07	8.75±2.66	3.45±1.07

*: 具典型季节性远距离迁飞行为，无滞育；　**: 具迁飞行为，有滞育；　***: 可能有迁飞行为，但目前试验资料尚属扩散，有滞育

3 结论与讨论

3.1 在夜蛾科15种、螟蛾科18种、及包括这两个科在内的20科71种蛾类翅面正投影各次系统聚类中，粘虫、小地老虎、稻纵卷叶螟等具有典型远距离迁飞行为的种类，均集中地归于一类，表明具有远距离迁飞行为的蛾类翅面几何形状相似，存在区别于其它种

类的共同特征。

根据供试参数的内涵，其特征似为：前翅较窄长，翅前缘较平直，翅外侧宽阔。

具有上述特征的翅，前缘较平直，前缘脉(C)、亚前缘脉(S_c)和径脉(R)三条纵脉主干平行并互相靠近，形成粗壮的纵向承力干。翅外侧宽阔，具有较大的产生升力和利用气流的有效面积。

3.2　本文方法有可能作为判别迁飞蛾类的一项指标。例如，以夜蛾科A类(迁飞类)与B～E类(非迁飞类)两大类对R_1、R_2、R_3三个性状进行多元方差分析，达显著差异。采用欧氏距离的距离判别建立判别函数：$W(R)=-27.75R_1+13.93R_2-3.35R_3+2.25$，将$R_1$、$R_2$、$R_3$三参数的测定值代入上式，若$W(R)>0$，属于迁飞类；$W(R)<0$，属于非迁飞类；$W(R)=0$，待判。

以棉铃虫 *Heliothis armigera* (Hübner) 为例，测得$R_1=2.88$，$R_2=6.87$，$R_3=4.06$，代入判别函数式得$W(R)=4.43>0$，应归于迁飞一类。事实支持上述判别，棉铃虫的迁飞问题已受到普遍重视。棉铃虫有滞育现象，但大量田间资料表明它在寄主间或区域间有迁飞行为，属于“兼性迁飞”。

然而值得注意，翅面几何形状是判断蛾类迁飞能力的重要因素，但不是唯一因素。除了翅形及其有关的力学结构以外，影响昆虫飞翔能力的还有其它诸多生理、生化及生物物理因素。特别是对于某些近缘种，例如白脉粘虫与粘虫同归于迁飞一类(图2)，在南方这两种虫常混合发生，黄山高空网也曾捕到大量白脉粘虫，但由于研究较少，目前尚无足够资料证明白脉粘虫具有远距离迁飞行为。

3.3　昆虫迁飞是一种十分复杂的现象。昆虫迁飞行为及其规律，反映昆虫生物学及其所处环境(昆虫迁飞场)两方面的特性[11]。迁飞昆虫的翅可能不是逆气流飞行能力最强、而是利用气流远距离飞行能力较强的类型。正如人们所知，某些膜翅目、双翅目昆虫的飞行速度比粘虫、小地老虎快得多，具有更强的逆气流飞行能力，但它们并不表现远距离迁飞行为。在71种蛾类的聚类中，翅形窄长、翅振频率高、飞行速度快的几种天蛾，亦未能与粘虫等迁飞昆虫归于一类。

3.4　昆虫飞翔模式相当复杂，习性亦各不相同。例如，东亚飞蝗体型较大，翅属后动类，迁飞时飞飞停停吃吃，方向多变；褐飞虱、麦蚜体型微小，被气流运载迁移的程度很大；即使同属鳞翅目的蝶类，飞翔模式及其力学原理也与蛾类不同(拟另文报道)。蛾类具有基本相同的飞翔模式，本研究只限于蛾类迁飞昆虫的翅形特征，而非蛾类昆虫的翅形分析有待于进一步探讨。

致谢　承浙江农业大学植保系标本室，中国农业科学院植物保护研究所标本馆王音提供标本，谨致谢忱。

参　考　文　献

1　张志涛，李光博．粘虫飞翔生物学特性初步研究．植物保护学报，1985，12(2)：93～100

2　贾佩华，曹雅忠．小地老虎成虫的飞翔活动．昆虫学报，1992，35(1)：59～65

3　全国小地老虎科研协作组．小地老虎越冬与迁飞规律的研究．植物保护学报，1990，17(4)：337～342

4 Chapman R F. The insects structure and function. 2nd edn, New York: Elsevier, 1971

5 Mordue W, Goldsworthy G J, Brady J, *et al*. Insect Physiology. London: Blackwell Scientific Publications, 1980

6 Wooton R J. Function, homology and terminology in insect wings. Syst. Ent., 1979, (4): 81 ~ 93

7 Wooton R J. Support and deformability in insect wings. J. Zool, 1981, (193): 447 ~ 468

8 李光博，王恒祥，胡文绣. 粘虫季节性迁飞为害假说及标记回收试验. 植物保护学报，1964, 3(2): 101 ~ 109

9 Hust G W. Meteorogical aspects of the migration to Britatin of *Laphygma exigua* and certain other moths on specific occasions. Agric. Met., 1964, (1): 271 ~ 281

10 张孝羲，陆自强，耿济国等. 稻纵卷叶螟迁飞途径的研究. 昆虫学报，1980, 23(2): 130 ~ 139

11 张志涛. 昆虫迁飞与昆虫迁飞场. 植物保护，1992, 18(1): 48 ~ 50

12 陈若篪，丁锦华，谈涵秋等. 迁飞昆虫学. 北京: 农业出版社，1989, 409页

CLUSTER ANALYSIS FOR PROJECTION PARAMETERS OF THE WINGS IN 71 SELECTED MOTHS (LEPIDOPTERA: HETERONEURA)

Zhang Zhitao Chen Wei Fu Qiang

(*China National Rice Research Institute Hangzhou* 310006)

Li Guangbo

(*The Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences Beijing* 100094)

Li Baojuan

(*Zhejiang Agricultural University Hangzhou* 310029)

Abstract The geometrical projections of the wings of 71 species of selected moths which belong to 20 families in Heteroneura were made, and an orthogonal coordinate was established for each projection based on the longest diameter of projection and the vertical bisector of the diameter. Then three parameters (R_1, R_2, and R_3) were calculated according to the wing areas in each quadrant (S_1, S_2, S_3 and S_4) as follows:

$$R_1=(S_3+S_4)/(S_1+S_2),\ R_2=(S_3+S_4)/S_2,\ R_3=S_4/S_2.$$

The hierarchical clusterings were conducted for 18 species of Pyralididae, 15 species of Noctuidae, and all 71 tested species separately, based on the Euclidean distances or similarity coefficients of the three parameters (R_1, R_2 and R_3) of wing projection among species. The results showed that the migratory moths, *Mythimna separata*, *Agrotis ypsilon* and *Cnaphalocrocis medinalis*, always clustered in one group in clustering for either the fore wing or the combination of fore and hind wings. It is suggested that the shapes of the wings in migratory moths have some common

geometrical characters different from other tested lepidopterans. These common characters seem to be: (1) The anterior margin of the fore wing is rather straight, and the costal area is narrower, and (2) The outer area of the fore wing is wider. These two characters are suitable to long-distance migratory flight of the migratory moths by air current.

Key words Lepidoptera, Heteroneura, wing projection, cluster analysis